

ENTRE MASONES Y FRACTALES. UN ENSAYO SOBRE LA FORMA DE LA CIUDAD DE LA PLATA, BUENOS AIRES, ARGENTINA

Between masons and fractals. An essay about the shape of the La Plata city,
Buenos Aires, Argentina

Dr. Fabián Bognanni

Programa de Arqueología Histórica y Estudios Pluridisciplinarios,

Universidad Nacional de Luján

Centro Interactivo de Ciencia y Tecnología,

Universidad Nacional de Lanús, Argentina

fabianbogn@hotmail.com

RESUMEN: La ciudad de La Plata en Argentina es un excelente ejemplo de planificación urbana en el continente sudamericano. Su diseño fue originalmente pensado sobre la base de ciertas simbologías vinculadas con la francmasonería, cuyos miembros, a fines del siglo XIX, detentaban cargos de decisión política como el caso de su fundador: el gobernador Dardo Rocha. En este trabajo se muestra que el diseño original de la ciudad tenía características fractales y que a pesar del tiempo y la expansión urbana al cabo de más de 130 años de desarrollo, sigue manteniendo esta condición geométrica. Esto a pesar de pasar de un diseño ordenado en el pasado a otro desordenado en la actualidad. Aquí se discute, teniendo en cuenta a la ciudad como un sistema dinámico complejo de crecimiento no lineal, a las características de la expansión de la estructura de la urbe y a su relación (y comunicación) con el medio.

ABSTRACT: The city of La Plata in Argentina is an excellent example of urban planning in South America. His design was originally thought on the basis of certain symbols associated with Freemasonry, whose members in the late nineteenth century, wielded political posts as its founder: the Governor Dardo Rocha. This paper shows that the original design of the city had fractal characteristics and despite the time and urban expansion after more than 130 years of development, this geometric condition continues. This despite the passing of a design in the past ordered another chaotic feature currently. Here is discussed, considering the city as a complex dynamic system of nonlinear growth, the expansion characteristics of the structure of the city and its relationship (and communication) with the surrounding medium.

PALABRAS CLAVE: La Plata – geometría fractal – sistemas complejos – estructura – función

KEYWORDS: La Plata – fractal geometry – complex systems – structure– function

Introducción

En las últimas décadas se ha comenzado a comprender que la mayoría de los grandes problemas que afectan a la humanidad son de naturaleza compleja y para su entendimiento es necesario la interacción de conocimientos provenientes de campos disciplinares disímiles, de ramas de las ciencias naturales, exactas y sociales, así también como de la

tecnología (Frank Hoefflich 2010). Estos problemas están caracterizados por la emergencia de fenómenos resultantes de múltiples procesos interrelacionados, excediendo las posibilidades de los análisis reduccionistas y ultra especializados. Por esto, es necesario el desarrollo de una ciencia integrativa que permita la transferencia de conocimientos de áreas distintas. Estas nuevas posturas científico-epistémicas pueden enmarcarse dentro de las denominadas “ciencias de la complejidad” o “sistemas complejos” (Martínez Mekler 2000; Sotolongo Codina y Delgado Díaz 2006; Bentley y Maschner 2007; Maldonado y Gómez Cruz 2010; etc.). Entre los aspectos más importantes de esta postura científico-epistémica, cabe destacar la ruptura de la concepción dicotómica entre Hombre (Cultura)-Naturaleza; así también como la existencia de sistemas complejos auto-regulados, las fluctuaciones entre estados ordenados y caóticos y las dinámicas no lineales (entre otros: Balandier 1993; Prigogine 1997; Martínez Mekler 2000; Schifter 2003; Bentley y Maschner 2007).

Desde aquellos trabajos pioneros e inspiradores de la llamada “Nueva Geografía” como los realizados por Walter Christaller (1933) en donde se plantea la Teoría de Lugar Central para explicar el espaciamiento y función de las ciudades del sur de la Alemania contemporánea, en asentamientos arqueológicos se han ensayado diferentes modelos para comprender los patrones de asentamientos humanos presentes y pasados: Polígonos de Thiessen, Jerarquía de Yacimientos, Regla Rango-Tamaño, etc. A su vez, existen algunos trabajos clásicos en los que se plantean estudios basados en la geometría fractal para comprender las lógicas del crecimiento urbano. Algunos de estos estudios fueron llevados a cabo en la pequeña ciudad de Taunton, al sudoeste de Inglaterra (Batty *et al.* 1989) y en Londres (Batty y Longley 1986, 1994; Longley y Batty 1987; etc.). Allí se comprobó, a partir de modelos basados en la agregación de difusión limitada (DLA por sus siglas en inglés), que el crecimiento urbano resultante tenía características de autosimilitud a diferentes escalas de análisis. Trabajo similar realizó Frankhauser (1998) aunque haciendo énfasis en diferentes jerarquías del uso del espacio urbano; asimismo se estudiaron las características del crecimiento del área metropolitana de Washington D.C. desde el año 1973 hasta 1996 (Masek *et al.* 2000). Por su parte Hern (2008) realizó una interesante analogía entre el inexorable e incontrolable crecimiento urbano de grandes ciudades como Washington y Brasilia y la expansión de neoplasmas malignos.

Pero ¿de qué hablamos cuando hacemos referencia a elementos fractales? Generalmente cuando pensamos en elementos geométricos lo hacemos en base a la denominada geometría clásica o euclídea. De

manera muy sintética (y bastante simplista), podemos decir que esta forma de geometría se basa en los famosos cinco postulados de Euclides (desarrollados hace más de dos mil años) que permiten la comprensión de elementos simples como puntos, líneas, esferas, cuadrados y cubos. Sin embargo, recién en el siglo XIX se comenzó a tener en cuenta otra manera de plantear la geometría a partir de los trabajos de autores como Nicolai Lovachevski y Janos Bolyai, entre otros. Esta nueva geometría conserva todos los postulados de Euclides con excepción del último, es decir el que plantea que: *“por un punto exterior a una recta se puede trazar una y sólo una recta paralela a dicha recta”* (Amster 2011:28). Estas son las denominadas geometías no euclídeas. Dentro de esta vertiente se encuentra la geometría fractal desarrollada a mediados de la década de 1970 por Benoit Mandelbrot para describir formas irregulares y fragmentadas de muchos elementos de la naturaleza que nos rodean: la forma de las nubes, la estructura ramificada de los árboles, el diseño de la hoja de muchas plantas como los helechos, entre otras tantas. El término fractal proviene del adjetivo latino *“fractus”* que significa fragmentado, roto o irregular (Mandelbrot 1997). Por este motivo los elementos fractales no van a estar caracterizados por dimensiones compuestas por números enteros sino fraccionarios; además la dimensión fractal (como la de Hausdorff-Besicovitch) debe ser, necesariamente, mayor que la topológica (correspondiendo el cero a un punto, el uno a una línea, el dos a un plano y el tres a un objeto tridimensional). También hay que resaltar la característica de auto semejanza a diferentes escalas (propiedad escalante en palabras de Mandelbrot), es decir que un segmento del elemento fractal debe poseer cierta similitud, exacta o estadística, con el todo. En los elementos fractales, la complejidad surge como un emergente que parte de la bifurcación (aunque no necesariamente en dos) de elementos simples en un momento de fluctuación en que el sistema se encuentra en un estado de no equilibrio (punto de bifurcación), resultando en una nueva auto-organización o estructura disipativa de acuerdo con Prigogine (1997).

Al efectuar un análisis dinámico (diacrónico) del crecimiento urbano en una ciudad planificada como La Plata se intenta identificar lógicas de expansión que permitan comprender qué ordenadores conllevan al cambio de la morfología desde un elemento de características iniciales “ordenadas” a otro caótico. Para esto, es necesario ir más allá de la simple descripción de la estructura de los flujos existentes en el sistema social humano, es decir intentar conformar mecanismos explicativos sobre la propia génesis de la estructura, teniendo en cuenta que el hombre debe ser entendido dentro de una estructura social en constante evolución que lo afecta y que a su vez, es afectada por él. Lo que se intenta tener siempre presente es el factor

dinámico que poseen las acciones humanas a través de su forma de asentamiento en una ciudad planificada y destacar al elemento temporal como un componente fundamental para esta clase de estudios que actúan sobre la base de grandes masas poblacionales, ya que en definitiva se trata del elemento humano y la forma en que interactúa con el medio en el que vive.

El objetivo planteado comprenderá, en esta instancia, un primer acercamiento al problema y por ende no se deberá esperar un desarrollo acabado, sino por el contrario, apenas un comienzo. En relación al espacio urbano de la ciudad de La Plata ¿por qué partimos de una morfología inicial ordenada, que por acción del crecimiento urbano, dio como resultado actual otra caótica? Para intentar conocer que elementos están afectando a la actual morfología urbana, es necesario comprender por qué se dispuso el orden inicial. Desde ya advertimos que este problema excede las posibilidades de este trabajo y que lo que se intenta es apenas un aporte, más descriptivo y reflexivo que concluyente, hacia ese fin.

Breve reseña acerca del origen de la ciudad

La ciudad de La Plata pertenece al partido homónimo y se encuentra a 56 km de la ciudad de Buenos Aires, con su punto central (la actual plaza Moreno) a 34°55'16,51" de latitud sur y 57°57'15,58" de longitud oeste. Se encuentra en una zona de terrenos llanos y a poco más de 10 km de la costa del Río de la Plata (en dirección noroeste). Fue oficialmente fundada por el Gobernador Dardo Rocha el 19 de noviembre de 1882 y es una de las pocas ciudades argentinas totalmente planificada. La planificación de la urbe fue llevada a cabo por el ingeniero Pedro Benoit, quien la caracterizó a partir de una estructura en cuadrícula con numerosas avenidas y diagonales (por ejemplo, las diagonales 73 y 74 se encuentran señalando respectivamente a los cuatro puntos cardinales: este y oeste por un lado y norte y sur por otro). El origen masón de parte de los partícipes en la planificación y construcción de la ciudad (entre ellos el mismo Dardo Rocha y Pedro Benoit) dio lugar a numerosos mitos y simbolismos vinculados con la conformación de la metrópoli (Sebastianelli 1999; Sempé *et al.* 2000, entre otros). Un ejemplo de esto es que en el diseño original de la ciudad es fácilmente identificable la escuadra y el compás (elementos básicos de la masonería); estos se forman a partir de las diagonales 73, 74, 79 y 80 (la escuadra) y las diagonales 77 y 78 (el compás) en el sector noroeste de la ciudad. Otro elemento, posiblemente más sutil, es la existencia de una forma conocida desde hace varios miles de años llamada "*vescica piscis*" (vejiga de pez) que se forma por la intersección de dos círculos de mismo radio y en

donde cada centro del círculo se encuentra conformando la circunferencia del contrario. En esta intersección se pueden formar dos triángulos equiláteros (diagonales 75, 76, 77 y 78) constituidos por el trazo de líneas rectas entre los centros de los dos círculos y entre estos y los puntos de intersección.

Debido a su diseño, fue reconocida con los premios “Ciudad del Futuro” y “Mejor realización construida” de la Exposición Universal de París de 1889.

Resultado de la constante expansión, la ciudad de La Plata se extendió hacia los lados constituyendo un cinturón urbano denominado como Gran La Plata. Esta metrópolis, a su vez, conforma un gran conglomerado urbano al asociarse con ciudades vecinas del propio partido de La Plata como City Bell, Ringuélet, Melchor Romero, Los Hornos, etc. y otras de partidos adyacentes como Ensenada y Berisso (Figura 1).

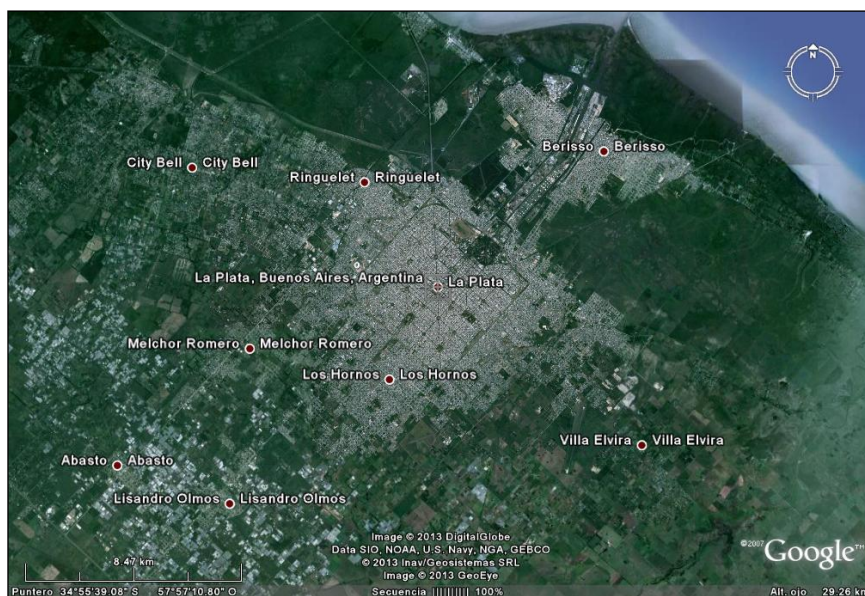


Figura 1. Imagen del Google Earth (2013) de La Plata y sus alrededores. Nótese el diseño cuadrangular original y la forma adquirida por su expansión y conjunción con otras ciudades vecinas más pequeñas

Materiales y método

Partiendo de la base que los fenómenos complejos pueden contener ciertos elementos con estructuras conservadoras y ciertos otros con capacidad de variación, es posible establecer parámetros para el

análisis requerido. Para el caso del estudio de las urbes posteriores a la conquista europea es posible identificar un elemento variable como es la morfología de la ciudad en uno o varios momentos de su historia. A su vez, el elemento constante estaría dado por el resultado de la geometría euclídea más básica: el cuadrado (representado para el caso de ciudades y pueblos actuales, en sus componentes mínimos: las manzanas de forma cuadrangular). La forma de urbanización en damero es una de las características más notorias del legado inicial de la conquista española en América. Debido a que no todas las manzanas son iguales, es necesario trabajar con una media poblacional o más precisamente una homogenización de los componentes mínimos resultante de la utilización de aplicaciones informáticas, más precisamente el software FracLab de ImageJ. Al respecto: *“Problemas como el de la auto-organización en sistemas en no equilibrio requieren ambos aspectos: el determinista, según el cual las medias representan con exactitud el estado del sistema, y el estocástico, que cobra importancia en la proximidad a los puntos de bifurcación e inestabilidad. Sólo la conjunción de estos dos aspectos nos facilita una representación real de algunos de los aspectos básicos de los sistemas en evolución”* (Prigogine 1997:285).

Los pasos seguidos en el desarrollo del análisis fueron:

1. Sobre la base de un mapa con el diseño original de la ciudad de La Plata se realizó el análisis de la dimensión fractal de manera de obtener un resultado numérico que permita la comparación con el obtenido en el estudio de la expansión actual. Para ello se utilizó la aplicación FracLab del software ImageJ.
2. Se realizó una composición de bandas denominada falso color compuesto (RGB 532) de una imagen de La Plata (Path 225 y Row 084) obtenida por el satélite Landsat TM 5 con fecha de captura del 06/09/2011. La combinación de estas bandas permite resaltar la urbanización del medio circundante. Cabe destacar que la resolución espacial de la imagen es de 30 metros, es decir que cada pixel equivale a este tamaño en el terreno. La resolución espacial es un limitante para identificar de forma más precisa al componente urbano del rural. Teniendo esto en cuenta, a la imagen se le realizó un ajuste de contraste en los canales verde y azul (green y blue respectivamente) de manera de que el contraste urbano-rural sea más notorio.

Ambas imágenes fueron procesadas para obtener los bordes con la función *“find edges”* (búsqueda de bordes) del programa ImageJ. De esta forma, a pesar de las diferencias de escala, ambas imágenes poseen características estructurales similares.

Para reconocer las posibilidades de autosimilitud requerida para caracterizar las imágenes como fractales, se aplicó el método de análisis denominado “*box counting*” (conteo de cajas). Este método se basa en la superposición de una malla o red de “cajas” de forma cuadrada y con lado “ r ” que cubren toda la imagen y que permiten separar los espacios vacíos de aquellos que forman parte de la figura a analizar (para esto el software FracLab de ImageJ necesita de imágenes binarias -aunque también admite en escala de grises- que permitan una separación nítida entre píxeles). Este procedimiento se replica varias veces pero con cajas distintas en forma decreciente, es decir con diferentes tamaños de r . Esta relación se representa en un gráfico en el que se establece el logaritmo del inverso del tamaño del lado de las cajas $-\log(1/r)-$ en el eje de abscisas (eje x) y el logaritmo del número de las cajas que no se encuentran vacías $-\log N(r)-$ en el eje de ordenadas (eje y). En resumen, lo que se plantea es una aproximación obtenida a partir de la relación existente entre el detalle y la escala de análisis.

Cabe destacar que para evitar realizar el procedimiento de obtención de la dimensión fractal sobre elementos no urbanos (como límites de parcelas de cultivos), se eliminó parte de la información considerada como “ruido”. Debido a que en este punto la imagen ya se compone de forma binaria, es decir formada por píxeles blancos y negros únicamente, fue posible borrar manualmente la información superflua a través de la comparación con la imagen original en diferentes combinaciones de bandas.

Resultados

El mapa con el diseño original de la ciudad de La Plata se convirtió a modo binario a fin de separar más nítidamente el contraste entre claro y oscuro, resultando en una imagen en blanco y negro. Sobre esta imagen binaria se aplicó el algoritmo de extracción de bordes a fin de obtener un plano con los perímetros de cada elemento geométrico que componga el diseño total. El producto de estos procesamientos se observa en la Figura 2. En esta misma imagen se observa el resultado del método (*box counting*) para obtener la dimensión fractal.

A simple vista es posible observar en el plano de la ciudad como se reiteran formas similares a escala menor que la totalidad del mapa. Por ejemplo, si tenemos en cuenta al punto de cada intersección entre las diagonales como “centro”, es posible identificar un esquema muy similar al que se constituye en la totalidad del plano. Si bien es posible discriminar rápidamente elementos constituyentes de características

fractales sobre la imagen, es importante reconocer numéricamente a su dimensión fractal a fin de asegurarnos esta aseveración. Efectivamente, la dimensión fractal del esquema original de la ciudad de La Plata es de 1,7493 (Figura 2).

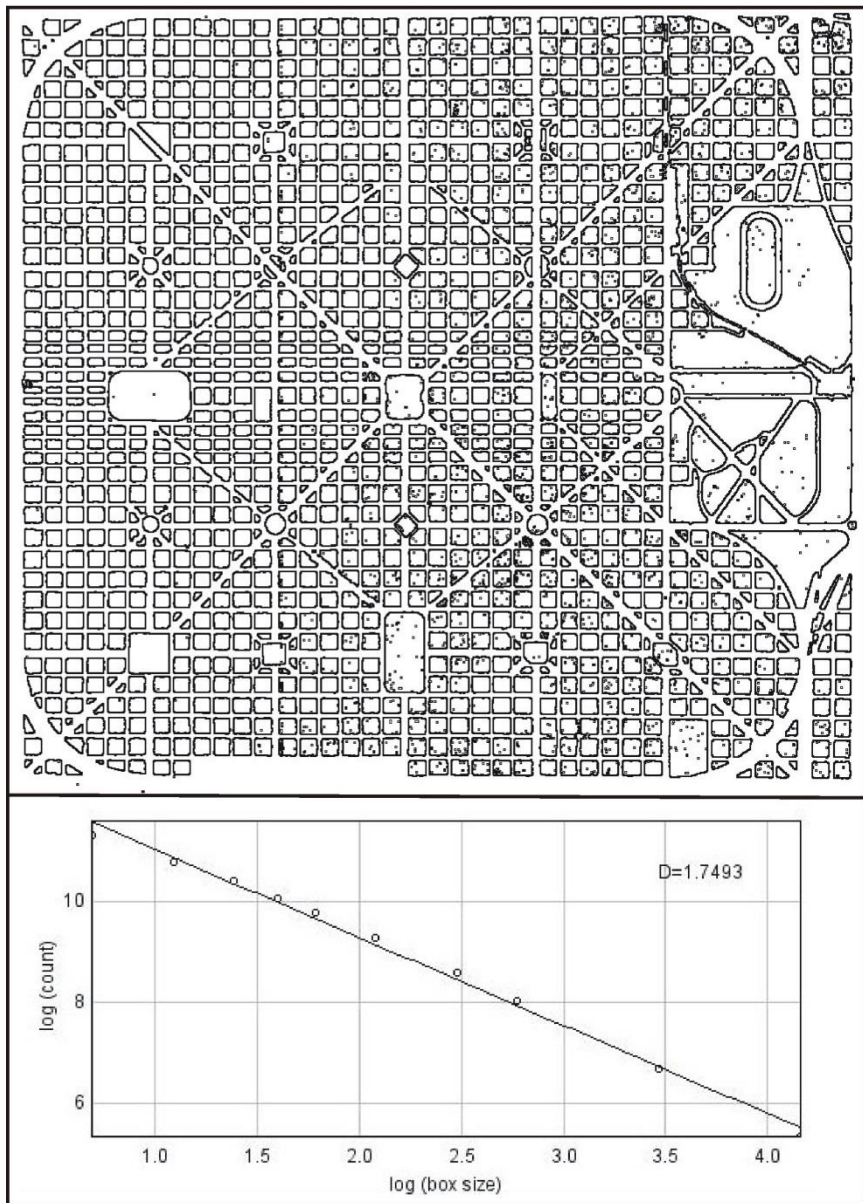
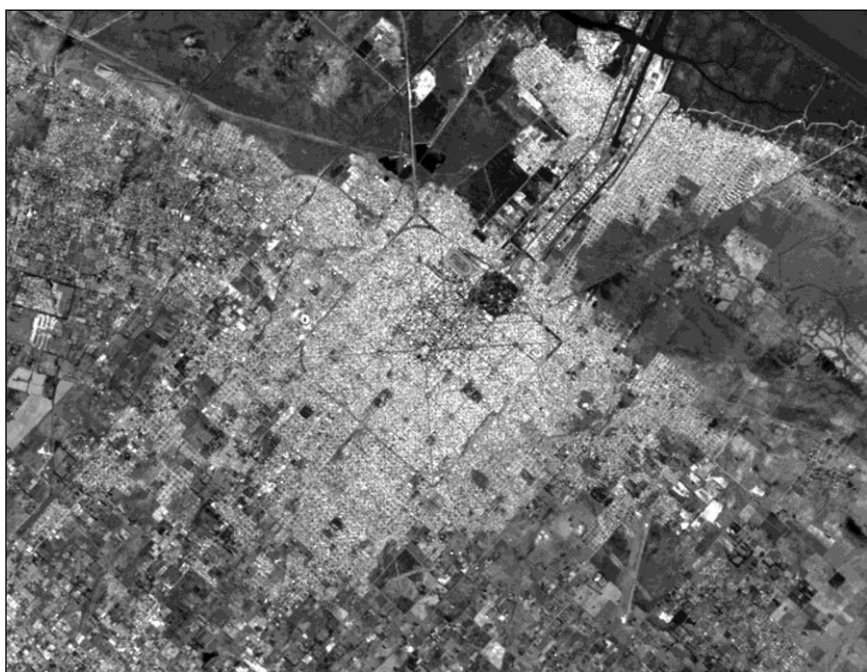


Figura 2. Arriba: plano con la disposición original de la ciudad de La Plata. Abajo: gráfico generado por la relación entre los logaritmos del tamaño de las cajas con el conteo de las mismas. También se observa la dimensión fractal (D)

Ya sabemos que el esquema original de la ciudad posee características fractales, sin embargo todavía no sabemos si esta geometría se mantiene en la actualidad y de qué manera.

Para el análisis de la situación actual de la ciudad de La Plata se utilizó una imagen del satélite Landsat 5 con una combinación RGB 532 (convertida en escala de grises para ser procesada por el software ImageJ) obtenida en el año 2011 (Figura 3). Allí se puede observar el avance urbano hacia la zona portuaria de Ensenada, así también hacia el noroeste, sudoeste y sudeste del diseño cuadrangular original. Sin embargo existe una cantidad importante de información que no está vinculada directamente con la extensión de la urbanización propiamente dicha (parcelas de cultivos, arroyos, el límite entre el continente y el Río de la Plata, etc.) y que se encuentra generando “ruido”.



.Figura 3. Imagen Landsat 5 TM RGB 532 (en escala de grises) de la ciudad de La Plata del año 2011

Esta información no relevante (“ruido”) debe ser eliminada, o al menos minimizada, ya que se encuentra afectando las posibilidades de establecer una mejor discriminación de los rasgos corresponde únicamente a la expansión del conglomerado urbano. La reducción de esta información va a permitir la obtención de una dimensión fractal más precisa o al menos, más acotada a la forma urbana.

En la Figura 4 puede apreciarse la forma actual de La Plata en donde se incluyen a varias ciudades cercanas de menores dimensiones que fueron “engullidas” por su expansión urbana. La zonas de mayor dispersión urbana se encuentra hacia el oeste (principalmente hacia el noroeste y sudoeste) y hacia noreste, lugar en donde se encuentra el Puerto de Ensenada. Este conjunto metropolitano posee una dimensión fractal total de 1,5650. Esto es considerablemente menor que en caso del diseño original de La Plata.

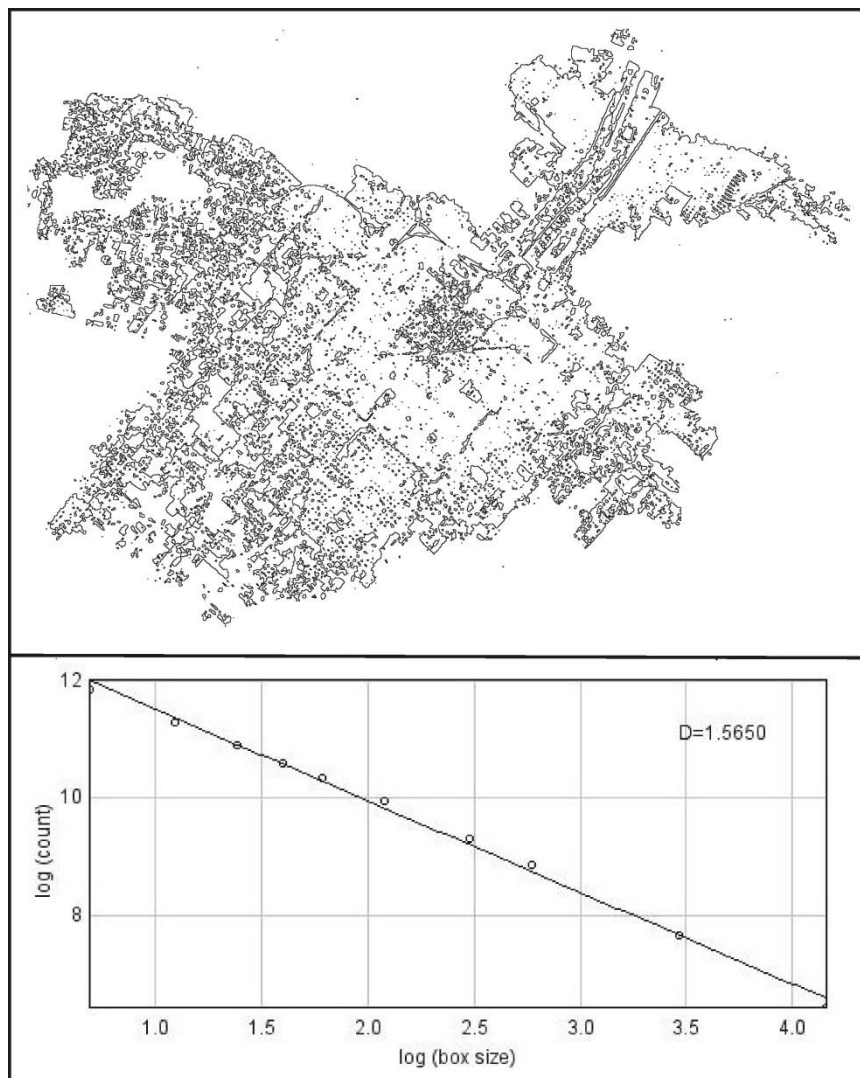


Figura 4. Arriba: disposición actual de la ciudad de La Plata. Abajo: gráfico generado por la relación entre los logaritmos del tamaño de las cajas con el conteo de las mismas. También se observa la dimensión fractal (D)

Esta diferencia entre las dimensiones fractales nos permite conocer que si bien los dos momentos estudiados de la urbanización poseen características fractales, en el diseño original, la dimensión fractal (1,7493) se encuentra más cercana a la dimensión topológica correspondiente a un plano, es decir una dimensión 2. En cambio, en la actualidad, la ciudad de La Plata posee una dimensión fractal de 1,5450, es decir en un punto intermedio entre una dimensión topológica de 1 y 2 (correspondiente a la línea y el plano respectivamente). Esto plantea que la forma actual de la metrópolis tiene una mayor fragmentación que en sus orígenes.

Discusión

Una de las cuestiones más interesantes a tener en cuenta tal vez no sea el hecho que tanto en su condición inicial así como en la actualidad, La Plata posee características fractales; sino el hecho que la ciudad que tenía una forma original planificada, al cabo de poco más de 130 años, haya adquirido una estructura similar a cualquier otra metrópolis no proyectada. Esta cuestión es importante ya que en este caso conocemos las condiciones formales iniciales y actuales de la urbe permitiendo una comparación entre ambos momentos del desarrollo de la ciudad. De esta manera obtenemos un eje conector por medio de la dimensión temporal otorgando un carácter evolutivo al problema (es decir, el estudio de la forma resultante de la disposición espacio-temporal del asentamiento compuesto por un gran conjunto humano, en este caso la ciudad de La Plata). Estas grandes acumulaciones humanas están generando una expresión formal, no intencionada y “natural” a partir del uso del espacio tridimensional (bidimensional en nuestro caso ya que se trabajó sobre imágenes en un plano). Teniendo en cuenta que las conglomeraciones humanas requieren de estudios dinámicos, es esencial la incorporación del elemento temporal a un mismo nivel que cualquier otra dimensión espacial ya que es un aspecto que resulta de gran importancia en la comprensión de sistemas con características evolutivas.

¿Qué implicancias tiene esta forma de expansión urbana? La forma resultante en la actualidad es consecuencia de las propiedades emergentes de la propia dinámica de sistema inicial. Sin embargo, más allá de las características formales iniciales, parece ser que la morfología emergente se comporta de manera similar en diferentes casos de grandes metrópolis. Estas propiedades formales emergentes no son simplemente la suma de propiedades anteriores, sino que el propio sistema se auto-organiza (o auto-organiza) hacia nuevos niveles por lo que requieren nuevas formas de comprensión dinámica. También es posible

preguntarnos qué factores son los emergentes de este comportamiento colectivo (y su consecuencia derivada en la materialidad de las ciudades) como resultado de acciones más profundas que la intencionalidad humana, cuyos efectos impliquen una forma de interacción compleja entre los individuos y el medio.

Un elemento importante a tener en cuenta en el estudio de las urbes es la generación de mecanismos de comunicación. Estas grandes masas poblacionales no son sistemas aislados sino que por lo contrario, necesitan de elementos comunicacionales que permitan el flujo material e inmaterial de parte de sus componentes. Los elementos comunicacionales permiten la asociación entre las diferentes ciudades, zonas productivas o de esparcimiento, en definitiva cualquier lugar de importancia para un asentamiento humano.

Si deseamos establecer la conexión entre dos puntos en un plano la manera más eficaz es por medio de una recta que los una. En el caso de las ciudades los elementos comunicacionales siguen con esta misma lógica aunque con características más complejas. El resultado de la constitución de estos mecanismos comunicantes en una ciudad es una forma que podemos describirla como “neuronal”, con un centro o cuerpo más o menos delimitado (en el caso de la ciudad de La Plata es bien evidente en su estado de desarrollo inicial) y brazos o apéndices que tienden a establecer los nexos entre otras estructuras similares y cercanas, pudiendo derivar en un sistemas de redes. Un aspecto interesante es que: *“por muy eficaz que sea el sistema de comunicaciones [...], siempre está sometido a la abrumadora tendencia al aumento de la entropía, a que se produzcan infiltraciones en el tránsito, a menos que se introduzcan desde lo externo agentes de regulación”* (Wiener 1988:85). La entropía que hace referencia Norbert Wiener se encuentra afectando a cualquier sistema ordenado y en nuestro caso, estaría proporcionando un factor con una alta tendencia al caos que repercutiría en la no linealidad del crecimiento urbano.

Los apéndices o brazos que se observan en la expansión de la ciudad serían el resultado de la canalización material de las posibilidades de comunicación que tiene la urbe en relación con otras poblaciones cercanas o zonas de interés. Es aquí el lugar donde el crecimiento de la ciudad se hace más evidente por sus características dinámicas, también es el lugar en donde su expansión se ve más influida por la tendencia a la desorganización. No es casualidad que estos apéndices se encuentren en vinculación espacial con el trazado de las vías de acceso (rutas, avenidas, etc.) que van desde y hacia la ciudad de La Plata y que se comunican con las poblaciones más próximas. Al ser estas zonas de comunicación las que poseen mayor accesibilidad intra e inter-ciudad, también son las van

a poseer mayores tasas de crecimiento urbano, al menos en relación con el resto de la periferia.

¿Qué relación se puede establecer entre el flujo, la función y la estructura en la ciudad? Para comprender la dinámica del crecimiento urbano es necesario tener en cuenta el trinomio fuertemente interrelacionado: flujo-función-estructura (Prigogine, 1997). Como planteamos, el aspecto que nos interesa destacar en este trabajo es la morfología, es decir la estructura que adquiere la ciudad de La Plata desde la perspectiva de un sistema dinámico y complejo. Si tenemos en cuenta la diferenciación de funciones entre el centro (casco urbano original) y la periferia (entre estas, los apéndices expansivos) que componen la urbe, hay que destacar la característica comunicante de los apéndices. Los brazos o apéndices comunicantes son los elementos que permiten el flujo e intercambio de todo tipo, por ejemplo información y materia, entre la urbe y el medio (incluidas otras ciudades cercanas). El flujo es un elemento de características no proporcionales en las diferentes partes del sistema y es altamente sensible a las fluctuaciones debido a la propia dinámica de sus propiedades retroalimentativas: *“El trinomio flujo/función/estructura implica una retroalimentación (feed-back) evolutiva: pueden surgir nuevas estructuras que, a su vez, modifiquen el flujo, lo que, a su vez, posibilitaría la emergencia de nuevas estructuras”* (Prigogine 1997:59). Los apéndices o brazos que se observan en la forma actual de expansión de la ciudad de La Plata serían las estructuras emergentes resultado de la combinación de estos tres factores en un intervalo temporal determinado.

Los apéndices generados en el transcurso de la evolución del sistema urbano de la ciudad produjeron una función ordenadora que “esclaviza” al propio sistema (Haken 1994), más precisamente a las estructuras comunicantes. Estos apéndices o brazos que surgieron como estructuras emergentes resultados de una acción conjunta entre una gran cantidad de elementos (crecimiento poblacional, construcción de vías de acceso, procesos de urbanización a pequeña escala, etc.), se vuelve un ordenador que condiciona el propio devenir del sistema tanto en sus aspectos estructurales, funcionales y de flujo. Estas estructuras emergentes con función comunicante adquieren una acción de ordenadores y por lo tanto actúan a favor del mantenimiento de su propia estructura, al menos por un tiempo. Por esto nos preguntamos: ¿es posible establecer intencionalmente nuevos ordenadores que permitan un crecimiento urbano homogéneo y ordenado?

Este es sin dudas uno de los grandes desafíos del urbanismo del siglo XXI. El estudio dinámico del crecimiento de la ciudad de La Plata nos permite comprender que a pesar de tener un origen planificado y

ordenado, el propio sistema, en su acción expansiva, tiende al desorden. A pesar de esto, en nuestro caso de análisis, se mantiene la condición geométrica fractal aunque desde un diseño ordenado hacia otro caótico. Los intentos de ordenamiento de este crecimiento urbano deberían desarrollarse a partir de la construcción de nuevas vías de comunicación que posean una dirección transversal a los apéndices de la forma neuronal actual. Sin embargo esto seguramente no bastará para devolverle el orden al crecimiento de una ciudad que lo ha perdido. Los nuevos proyectos de urbanización, muy necesarios en vista del crecimiento demográfico, deberían tener características lineales y estar en vinculación a los nuevos accesos, ya sea con disposiciones paralelas o perpendiculares a estos. De esta manera se apelaría a una característica propia de los elementos fractales: la autosimilitud como acción eficaz del crecimiento de las urbes (aunque ahora utilizado como parámetro ordenador de control). De todos modos y a pesar de cualquier ordenador que se pueda utilizar, las ciudades, como sistema complejo que son, inevitablemente tenderán hacia formas eficientes de expansión que, con el transcurso del tiempo, volverán a esquemas “neuronales”.

Conclusión

En este artículo, que no intenta ser exhaustivo acerca del tema, se pretendió presentar el tema y realizar un análisis y reflexión acerca de la forma de crecimiento de la ciudad de La Plata. Planteamos a este crecimiento como de características complejas y no lineales. En poco más de 130 años el desarrollo de una estructura urbana geométricamente fractal pero ordenada pasó a otra también fractal pero desordenada. Este proceso dinámico permitió la constitución de una expresión morfológica determinada a partir de una interacción de elementos y sistemas con múltiples escalas. Es posible concentrar esta multiplicidad de escalas en dos grandes grupos resultantes de acciones y comportamientos intencionales (principalmente en la micro-escala) y no intencionales (principalmente en la macro-escala).

El estudio de sistemas complejos como las grandes urbes debe abordarse a partir de los análisis basados en perspectivas sinérgicas (Haken 1994) en las cuales la comprensión de la auto-organización es un aspecto determinante a conocer. El estudio sinérgico de las ciudades implica, necesariamente, el resultado del comportamiento individual y colectivo (tanto intencional como no intencional) y la auto-organización teniendo en cuenta la propia dinámica del sistema en interacción con el medio y otros sistemas urbanos que se encuentren en comunicación. Entender a las grandes ciudades como un todo auto-organizado y de características dinámicas es crucial para su comprensión y planificación

futura, sobre todo teniendo en cuenta el gran aumento poblacional presente en el mundo actual y los cada vez más habituales problemas ecológicos que los afectan. Así como no podríamos comprender el funcionamiento de una colmena a través del estudio de las abejas de forma individual, tampoco podemos entender a las urbes, como expresión máxima de la aglomeración humana, a través de la suma de las personas que allí conviven. En síntesis, apreciar al ser humano *dentro* de la naturaleza es empezar a comprender que existen fuerzas evolutivas que escapan a nuestra intencionalidad cultural.

Bibliografía

- AMSTER, P. (2011). *La matemática como una de las bellas artes*. Colección Ciencia que ladra...Siglo XXI editores, Buenos Aires.
- BALANDIER, G. (1993). *El desorden. La teoría del caos y las ciencias sociales*. Elogios de la fecundidad del movimiento. Gedisa S. A., Barcelona.
- BATTY, M. y Longley, P. (1986). *The fractal simulation of urban structure*. En:Environment and Planning A 18, pp. 1143-1179.
- BATTY, M. y Longley, P. (1994). *Fractal cities. A geometry of form and function*. Academic Press, London.
- BATTY, M., Longley, P. y Fotheringham, S. (1989). *Urban growth and form: scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation*. En: Environment and Planning A21(11), pp. 1447-1472.
- BENTLEY, R. y Maschner, H. (2007). *Complexity theory*. En: Handbook of Archaeological Theories (R. Bentley; H. Maschner y C. Chippendale editores), pp. 245-270. AltaMira Press.
- CHRISTALLER, W. (1933). *Die Zentralen Orte in Süddeutschland*. Karl Zeiss, Jena.
- FRANKHAUSER, P. (1998). *Fractal geometry of urban patterns and their morphogenesis*. En: Discrete Dynamics in Nature and Society N° 2, pp. 127-145.
- FRANK HOEFLICH, A. (2010). *Centro de Ciencias de la Complejidad (C3). En busca de la transdisciplina*. En: Revista Digital Universitaria, Vol. 11, N° 5 (1 de junio), Coordinación de Publicaciones Digitales, UNAM, México.
- HAKEN, H. (1994). *Fórmulas del éxito en la naturaleza. Sinérgica: la doctrina de la acción en conjunto*. Biblioteca Científica Salvat, Barcelona.

- HERN, W. (2008). *Malignant land use/cover expansion in human communities*. En: XV Annual International Symposium on Urban Form, Artimino, Italy, November 21-23.
- LONGLEY, P. y Batty, M. (1987). *Using fractal geometry to measure maps and simulate cities*. En: Computer Education N° 56, pp. 15-19.
- MALDONADO, C. y Gómez Cruz, N. (2010). *El mundo de las ciencias de la complejidad. Un estado del arte*. En: Documentos de Investigación N° 76, Universidad del Rosario, Bogotá.
- MANDELBROT, B. (1997). *La geometría fractal en la naturaleza*. Metatemas 49, Tusquets editores, Barcelona.
- MARTINEZ MEKLER, G. (2000). *Una aproximación a los sistemas complejos*. En: Ciencias, N° 59, julio-septiembre, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, pp. 6-9.
- MASEK, J., Lindsay, F. y Goward, S. (2000). *Dynamics of urban growth in the Washington DC metropolitan area 1973-1996, from Landsat observations*. En: International Journal of Remote Sensing N° 21(18), pp. 3473-3486.
- PRIGOGINE, I. (1997). *¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden*. Colección Metatemas N° 3, Tusquest Editores, Barcelona.
- SCHIFTER, I. (2003). *La ciencia del caos*. La Ciencia para todos N° 142, Fondo de Cultura Económica, México.
- SEBASTIANELLI, E. (1999). *La masonería en la ciudad de La Plata*. En: Revista Internacional Symbolos, del mes de julio.
- SEMPE, C., Rizzo, A. y Catullo, M. (2000). *La ritualidad masónica como expresión funeraria a fines del siglo XIX y principios del XX: el cementerio de La Plata*. En: Alteridades. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Ixtapalapa, División Ciencias Sociales y Humanidades, Departamento de Antropología.
- SOTOLONGO CODINA, P. y Delgado Díaz, C. (2006). *La revolución contemporánea del saber y la complejidad social. Hacia unas ciencias sociales de nuevo tipo*. CLACSO, Buenos Aires.
- WIENER, N. (1988). *Cibernética y sociedad*. Tercera edición, Editorial Sudamericana, Buenos Aires.